Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 255-264

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۶۴-۲۵۵

مطالعه آیروآکوستیکی پروانه محوری موتور تراکتور با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

بهروز صبر علیلو[۱]، آرش محبی[۲*]، عیوض اکبریان[۳]، عادل رضوانی وند فنائی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

چکیده

پیش‌بینی صدای تولید شده از جریان سیال علی‌رغم دشوار بودن، می‌تواند با کمک تکنیک‌های عددی مدرن و دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی گردد. تحقیق حاضر به بررسی شبیه‌سازی آیروآکوستیکی پروانه موتور تراکتور با استفاده از مدل تعیین نویز جریان نویز پهن باند می‌پردازد. نویز در ادوات کشاورزی از آن جهت که هم با آسایش انسان و هم حیوانات ارتباط دارد، حائز اهمیت ویژه‌ای است. پیش‌بینی نویز با توجه شرایط حالت پایا با استفاده از مدل نویز پهن باند بر روی پروانه‌ی ۶ پره موتور تراکتور ITM399 ساخت شرکت موتورسازان تراکتورسازی تبریز صورت پذیرفت. طبق نتایج بیشتر مقدار نویز در نوک پره‌ها تحت تاثیر سرعت و فشار دینامیکی بالا در این ناحیه شکل گرفت. هم‌چنین تطابق خوبی بین داده‌های عددی و تجربی به‌دست آمد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مدل نویز پهن باند پیش‌بینی مناسبی از شرایط عملکردی سر و صدای پروانه را دارا می‌باشد و منابع ایجاد سر و صدا را می‌تواند به‌خوبی شناسایی نماید.

واژه‌های کلیدی: آلودگی صوتی، پروانه رادیاتور، دینامیک سیالات محاسباتی، نویز پهن باند

مقدمه

بحث آلودگی صوتی از نگرانی‌های اکثر جوامع و صنایع است و از طرفی آیرودینامیک و نویز جریان به‌طور خاص‌تر، به دلیل ارتباط آن‌ها با سطح آسایش محیطی زندگی یا کار مردم و همچنین ایجاد استرس و ترس در حیوانات در محیط مزارع که ادوات کشاورزی در آن کار می‌کنند، مورد توجه می‌باشد. آیروآکوستیک نه تنها به دلیل مقررات دولت‌ها در انتشار سر و صدا، بلکه به دلیل افزایش تقاضای مردم از استانداردهای زندگی و ایجاد محیطی امن برای حیوانات مزارع، مورد توجه قرار گرفته است. در عین حال محصولاتی با عملکرد آیروآکوستیکی بالا، مشتریان زیادی را جذب خواهد کرد که این خود به سود اقتصاد جهانی است (Hubbard, 1991). هم‌چنین کاهش نویز جریان اغلب با کاهش هزینه انرژی همراه است و باعث دوام ساختارها و بهبود کیفیت محصولات می‌شود. در حالی‌که پیشرفت‌های بزرگی در پیش‌بینی نویز باند باریک به‌دست آمده است، نویز باند عریض می‌تواند در فن‌های محوری خیلی موثر باشد. استفاده از روش‌های محاسبات دقیق آیرودینامیکی مانند شبیه‌سازی عددی مستقیم (DNS[۱]) و یا شبیه‌سازی چرخشی بزرگ (LES[۲]) به پیش‌بینی بهتر نویز باند عریض کمک می‌کند (Fedala *et al.*, 2007). با این حال در پیش‌بینی نویز باند باریک با توجه به این‌که علاوه بر نیاز به دقت عددی بالا، برای دریافت مناسب در گیرنده‌های صوتی، شبکه‌بندی باید از کیفیت بالا برخوردار باشد و فقط زمانی که گیرنده‌ها داخل میدان حل و در نزدیکی منبع تولید نویز باشند، استفاده عملی از این روش امکان‌پذیر است و همچنین به حل معادلات تراکم‌پذیر نیاز دارد، استفاده صنعتی از آن مقرون به‌صرفه نیست.

مدل جایگزین ارائه شده در بخش‌های بعدی بر مبنای تکنیک‌های تحلیلی است. به‌طور عمده، نویز باند عریض یک جزء مهمی در فن‌های فروصوت[۷] است (Smagorinsky, 1963). مکانیزم تولید نویز به دلیل جریان آشفته، پدیده‌ی پیچیده‌ای است. مکانیزم‌های مختلفی به خاطر مشارکت قابل توجه آنها شناخته شده است. با این حال، نمی‌توان آن‌ها را از یکدیگر جدا کرد. اهمیت مکانیزم تولید نویز به ویژگی‌های آیرودینامیکی جریان، شدت تلاطم، زاویه برش و مقیاس طول آشفتگی بستگی دارد که در این زمینه کارهایی (Roshko, 1961; Majander and Siikonen, 2002; De Villiers, 2007; Wang *et al.*, 2012) انجام گرفته است. هم‌چنین از شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی در سایر زمینه‌های کشاورزی مانند شبیه‌سازی سیکلون‌ها استفاده شده است (Rezvanivandefanayi and Nikbakht, 2015). هم‌چنین مقایسه پیش‌بینی دمای خروجی جمع‌کننده خورشیدی تخت با نتایج تجربی به‌وسیله دینامیک سیالات محاسباتی و شبکه عصبی مصنوعی از کارهای نوین انجام شده در این زمینه است (Nadi *et al.*, 2017).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه
۲- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه
۳- دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
۴- دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: a.mohebbi@urmia.ac.ir)

5- Direct Numerical Simulation
6- Large Eddy Simulation

DOI: 10.22067/jam.v10i2.74963

7- Subsonic

این مطالعات نشان می‌دهند که نویز تولید شده توسط تیغه فن به دلیل ترکیب چندین منبع نسبتاً متمایز است:

- اثر متقابل تیغه فن با برخورد جریان توربولانس و لایه‌های مرزی غلاف
- سر و صدای پس تیغه به علت توسعه و جداسازی لایه‌های مرزی آشفته
- سر و صدای گردابه مرتبط به Von Karman vortex streets (انتشار گردابی)
- نویز تولید شده توسط جریان انتشاری و گردابه‌های نوک
- گرفتگی، گرد و غبار، تنظیم سرعت حداکثر و جنس تیغه

در این تحقیق به شبیه‌سازی آکوستیکی پروانه‌ی موتور تراکتور ITM 399 با استفاده از روش حجم محدود پرداخته شده است. اصول اساسی پیش‌بینی نویز آیرودینامیکی در جریان نامحدود با استفاده از قیاس‌های آکوستیکی، در ابتدا توسط لایتهیل به‌دست آمده است. کرل آن را با در نظر گرفتن وجود مرزهای جامد در جریان گسترش داد. سپس، برای پیش‌بینی نویز آیرودینامیکی از جسم در حال حرکت، فاکس ویلیام هاوکینگز روشی را برای تاثیر یک سطح متحرک در تولید صدا داخل جریان ارائه داد. از اواخر دهه ۱۹۹۰، آیروآکوستیک محاسباتی به‌عنوان یک شاخه جداگانه در روش‌های عددی، برای پیش‌بینی نویز انعکاسی از یک منبع ایروآکوستیکی یا انتشار امواج صوتی در یک میدان جریان ناهمگن مورد مطالعه قرار گرفته است. روش‌های عددی آیروآکوستیکی مانند روش فاکس ویلیام هاوکینگز در سال ۱۹۶۹، یا روش سطح کیرشهف توسط فاراست و مایرس در سال ۱۹۸۸، مشکلات روش مستقیم را ندارند. این روش‌ها به‌طور گسترده برای پیش‌بینی نویز جت و نویز حاصل از دوران روتور مورد استفاده قرار می‌گیرند. فرمول فاکس ویلیام هاوکینگز به‌دست آمده از عمومی‌ترین شکل قیاس آکوستیکی لایت هیل است و قادر به محاسبه صدای تولید شده توسط چندین منبع آکوستیکی می‌باشد. با توجه به وقت‌گیر بودن روش محاسبه مستقیم نویز و روش آکوستیک آنالوگ و همچنین برای اهداف طراحی بدون نیاز به دقت بالا در نرم‌افزار فلوئنت مدل نویز پهن باند[1] نیز اضافه گردیده است (de Jong and Golliard, 2013; Horváth and Vad, 2009). مطالعات محدودی در مورد بررسی آزمایشگاهی آکوستیک و عددی جریان بر روی پروانه‌های محوری انجام پذیرفته است و با بررسی منابع علمی مشخص گردید که کار جامعی بر روی مطالعه آیروآکوستیکی پروانه محوری موتور تراکتور با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی انجام نپذیرفته است و درک عمیقی در این حوزه وجود ندارد.

هدف اصلی این تحقیق بررسی آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدت صوت پروانه محوری تراکتور در تونل باد و مقایسه آن با نتایج عددی حاصل از شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی است.

مواد و روش‌ها

آزمایش تجربی

اندازه‌گیری صوت در تونل باد موجود در شرکت موتورسازان تراکتورسازی تبریز صورت پذیرفت (شکل ۱). با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام یافته توسط ابزار صوت‌سنج (شکل ۲) مقادیر تراز صوتی در دورهای مختلف پروانه برای مشخص کردن تاثیر بار و گشتاور، اندازه گرفته شد. تراز صوتی اندازه گرفته شده به شرح جدول ۱ می‌باشد.



شکل ۱- تونل باد

Fig. 1. Wind tunnel



شکل ۲- صوت‌سنج

Fig. 2. Acoustic meter

1- Broadband noise

جدول ۱– تراز صوتی اندازه‌گیری شده در دورهای مختلف در تونل باد

Table 1- Sound balance measured in different periods in the wind tunnel

دور بر دقیقه (rpm) Round per minute	تراز صوتی (db) Sound level
1500	85
1300	81
1000	79

شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی

در شبیه‌سازی به‌وسیله دینامیک سیالات محاسباتی، ابتدا مدل فیزیکی مرتبط با هندسه و شرایط حاکم بر مسئله ذکر می‌شود. سپس با گسترش مدل ریاضی، معادلات بقا شامل سه قانون بقای جرم (پیوستگی)، بقای مومنتوم (اندازه حرکت) و بقای انرژی استخراج می‌گردد. سپس در ادامه با استفاده از گسسته‌سازی معادلات حل می‌گردند و میدان‌های فشار، دما، سرعت و غیره حاصل می‌شوند.

قوانین حاکم بر نوع جریان و نوع هندسه که در CFD در نظر گرفته شده عبارتند از:

قانون بقای جرم

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho m)+\nabla.(\rho_m \overrightarrow{v_m})=\dot{m} \qquad (۱)$$

$\vec{v}_m$ سرعت میانگین‌گیری شده جرمی ($m.s^{-1}$) و ρ_m چگالی مخلوط ($kg.m^{-3}$) می‌باشند.

قانون بقای مومنتم

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_m \vec{v}_m\right)+\nabla.\left(\rho_m \vec{v}_m \vec{v}_m\right)=-\nabla p+\nabla.\left[\mu_m\left(\nabla \vec{v}_m+\nabla \vec{v}_m^T\right)\right]+ \rho_m \vec{g}+\vec{F}+\nabla.\left(\sum_{k=1}^{n} \alpha_k \rho_k \vec{v}_{dr,k} \vec{v}_{dr,k}\right) \qquad (۲)$$

n تعداد فاز، $\vec{F}$ نیروی حجمی (N) و μ_m لزجت مخلوط (Pas.s) می‌باشد.

قانون بقای انرژی

$$P_A \approx \frac{1}{\rho_0 \alpha_0} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \overline{p'^2} r^2 \sin\theta d\theta d\Psi = \int_S I(\vec{y}) ds(\vec{y}) \qquad (۳)$$

k_{eff} رسانایی موثر ($W.\ K^{-1}.m^{-1}$)، $\nabla.(k_{eff} \nabla T)$ انتقال انرژی به سبب هدایت (J). S_E دیگر منابع حرارت (J) (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

اهمیت در نظر گرفتن مدل آشفتگی مناسب از آن جهت مهم می‌باشد که الگوی جریان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با مطالعه منابع مختلف و مقالات پیرامون این موضوع از حالت تحقق‌پذیر از مدل k-ε استفاده شده است. دو رابطه‌ی حاکم اساسی این مدل به‌صورت زیر بیان می‌گردد.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\mu_t/\sigma_k\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+S_k \qquad (۴)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\mu_t/\sigma_\varepsilon\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+S_\varepsilon \qquad (۵)$$

که عبارت‌های S_k و S_ε عبارت‌های منبع با توجه به انرژی جنبشی آشفته (k) و نرخ (ε) هستند (ANSYS Fluent Theory Guide, 2013).

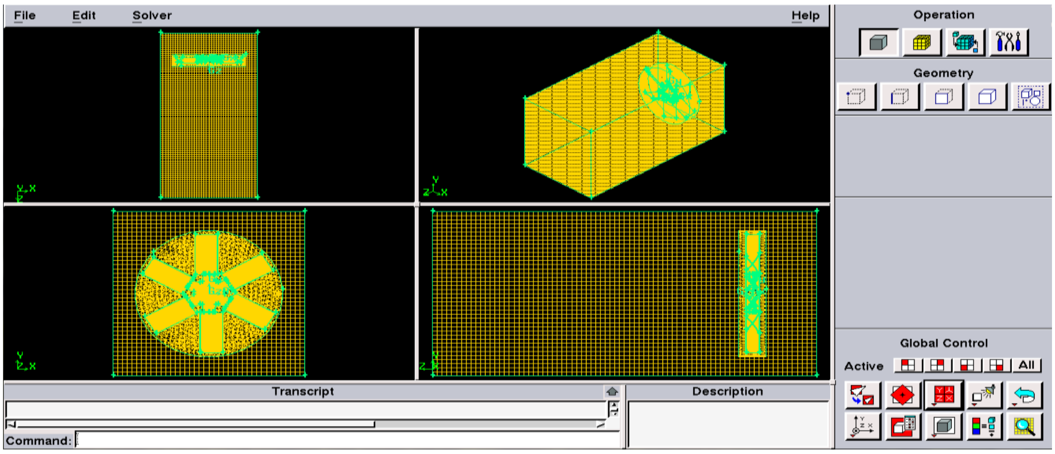
این مدل آشفته با رفتارهای نزدیک به دیواره مانند "تابع دیواره استاندارد" سازگار است. به‌منظور داشتن رفتار سازگار با فرض تابع دیواره استاندارد، دقت ویژه‌ای باید برای مش‌های نزدیک به دیواره‌ها در نظر گرفته شود.

شماتیکی از پروانه رادیاتور مورد نظر در شکل ۳ آمده است. هم‌چنین مراحل کاری انجام گرفته برای ایجاد فایل نهایی با پسوند msh در نرم‌افزار گمبیت به‌طور خلاصه در شکل ۴ آورده شده است. به‌دلیل این‌که نرم‌افزار انسیس فلوئنت ۱۵ فاقد محیط پیش‌پردازش برای رسم هندسه شکل است، ابتدا باید هندسه مورد نظر در نرم‌افزار گمبیت ترسیم گردیده و سپس بعد از مش‌بندی و اعمال شرایط مرزی به نرم‌افزار فلوئنت انتقال یابد.



شکل ۳– شماتیکی از پروانه رادیاتور

Fig. 3. A schematic of radiator fan



شکل ٤- هندسه مش‌بندی شده در نرم‌افزار گمبیت

Fig. 4. Meshed geometry in Gambit software

شبیه‌سازی بر اساس حالت پایدار، تک فاز، حلگر بر پایه فشار و مدل انتقال مومنتوم ۳ بعدی از فن ۶ پره می‌باشد.

شبیه‌سازی آیروآکوستیکی

در بسیاری از کاربردهای عملی که شامل جریان آشفته هستند، نویز هیچ تن مشخصی ندارد و انرژی صدا به‌طور مداوم در طیف وسیعی از فرکانس‌ها توزیع می‌شود. برای حل و توصیف اثرات نوسانات آشفته‌ی سرعت و کمیت‌های اسکالر جریان، مدل‌های مختلف آشفتگی وجود دارد. مدل آشفتگی‌ای که بتواند برای تمام حالات و مسائل مختلف به‌کار رود وجود ندارد. انتخاب مدل آشفتگی به ملاحظاتی مانند فیزیک جریان، تجربه‌ی شبیه‌سازی، میزان دقت مورد نیاز، قدرت منابع محاسباتی و زمان موجود برای انجام محاسبات، وابسته است. در مواردی که دارای نویز پهن باند هستند، مقادیر آشفتگی آماری که به‌راحتی قابل محاسبه از معادلات RANS[1] می‌باشند، می‌توانند در ارتباط با همبستگی‌های نیمه‌تجربی و هماهنگی‌های صوتی مورد استفاده قرار گیرند تا برخی از منابع نویز پهن باند را آشکار سازد.

مدل‌های منبع نویز پهن باند نیازی به راه‌حل‌های گذرا برای معادلات دینامیک سیال حاکم ندارند. همه مدل‌های منبع نیازمند مدل‌های معمول RANS می‌باشند، مانند میدان متوسط سرعت، انرژی جنبشی آشفتگی (k) و نرخ اضمحلال (ε). بنابراین استفاده از مدل منبع نویز پهن باند نیاز به منابع محاسباتی بالا ندارد. به‌عنوان مثال Hambric و همکاران و Khondge از شبیه‌سازی RANS برای آیروآکوستیک پهن باند استفاده کرده‌اند.

صدای خارج از میدان که توسط جریان لایه مرزی آشفته بر روی یک جسم جامد در اعداد ماخ پایین تولید می‌شوند، اغلب دارای پتانسیل مطالعات کاربردی است.

انتگرال کرل بر اساس قیاس صوتی می‌تواند برای تقریب سهم محلی از سطح بدنه به کل قدرت صوتی استفاده شود. به این ترتیب، می‌توان با انتگرال کرل شروع کرد:

$$p'^{(\vec{x},t)} = \frac{1}{4\pi\alpha_0}\int \frac{(x_i - y_i)}{r^2}\frac{\partial p}{\partial t}(\vec{y},\tau)dS(\vec{y}) \qquad (۶)$$

در اینجا τ نشان‌دهنده زمان انتشار ($\tau = t - r / a0$)، و S یک سطح ادغام است. با استفاده از این، شدت صدا در میدان دور می‌تواند توسط رابطه (۷) تقریب شود.

$$I(\vec{y}) \equiv \frac{A_c(\vec{y})}{\rho_0\pi\alpha^3{}_0}\left[\overline{\frac{\partial p}{\partial t}}\right]^2 \qquad (۷)$$

جایی که Ac یک منطقه همبستگی است، $r \equiv |\vec{x}-\vec{y}|$ و cosθ زاویه‌ی بین $|\vec{x}-\vec{y}|$ و جهت نرمال دیواره است.

کل توان صوتی منتشر شده از سطح کل بدنه را می‌توان از رابطه (۸) به‌دست آورد.

$$P_A \approx \frac{1}{\rho_0\alpha_0}\int_0^{2\pi}\int_0^{\pi}\overline{p'^2}r^2\sin\theta\, d\theta\, d\Psi = \int_S I(\vec{y})ds(\vec{y}) \qquad (۸)$$

که در آن:

$$I(\vec{y}) \equiv \frac{A_c(\vec{y})}{\rho_0\pi\alpha^3{}_0}\left[\overline{\frac{\partial p}{\partial t}}\right]^2 \qquad (۹)$$

که می‌تواند به‌عنوان سهم محلی در هر واحد سطح از سطح بدنه به کل توان صوتی تفسیر شود. مشتق مربع میانگین زمانی فشار سطح و منطقه‌ی همبستگی بیشتر از تقریب در مقادیر آشفتگی ترم‌ها مانند انرژی جنبشی توربولانس، نرخ اضمحلال و برش دیواره است. انسیس فلوئنت توان سطح صوتی را در واحدهای فیزیکی ($W.m^{-2}$) و dB گزارش می‌دهد.

1 -Reynolds Averaged Navier Stocks

شرایط مرزی

در شرایط مسئله، شرط مرزی نوع "سرعت ورودی" برای ورودی و "فشار خروجی" برای خروجی اعمال می‌گردد. همچنین از قاب مرجع چندگانه[1] برای اعمال حرکت چرخشی پروانه بهره گرفته شد. شرایط ترمودینامیکی در این مرزها باید در نظر گرفته شود (با توجه به مقادیر در نظر گرفته شود). مقادیر برای فشارها، مقادیر کل برای سیال‌های ورودی و مقادیر استاتیک برای مقدار خروجی می‌باشد. دیواره‌های نازل و پوسته لوله به‌صورت سطوح غیرقابل نفوذ و بی‌دررو و بدون لزجت تعریف می‌شوند.

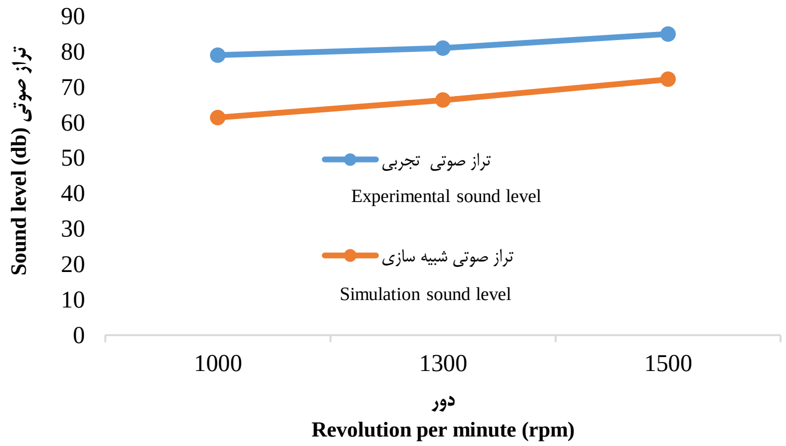
استقلال از شبکه

سه سطح مش‌بندی با تعداد ۲۱۷۸۵۶ در سطح ۱، ۴۵۳۲۸۴ در سطح ۲ و ۷۸۴۲۵۰ در سطح ۳ انجام گردید؛ با توجه به اختلاف بسیار کم مش سطح ۲ و ۳، مش سطح ۲ با ۴۵۳۲۸۴ مش به‌عنوان مش مورد نظر برای تحلیل انتخاب شد. معیار همگرایی برای تمامی مقادیر، 10^{-4} اتخاذ گردید.

نتایج و بحث

اعتبارسنجی

صحت داده‌ها نتایج شبیه‌سازی با نتایج اندازه‌گیری شده بررسی گردید. در نتایج آزمایشگاهی تراز صوتی به همراه صوت محیط و اینورتور و تسمه پولی می‌باشد که در حدود ۱۵ db می‌باشد. با در نظر گرفتن این موضوع نتایج شبیه‌سازی توافق خوبی با نتایج تجربی داشت (شکل ۵).



شکل ۵- اعتبارسنجی داده‌های تجربی و شبیه‌سازی
Fig. 5. Validation experimental and simulation data

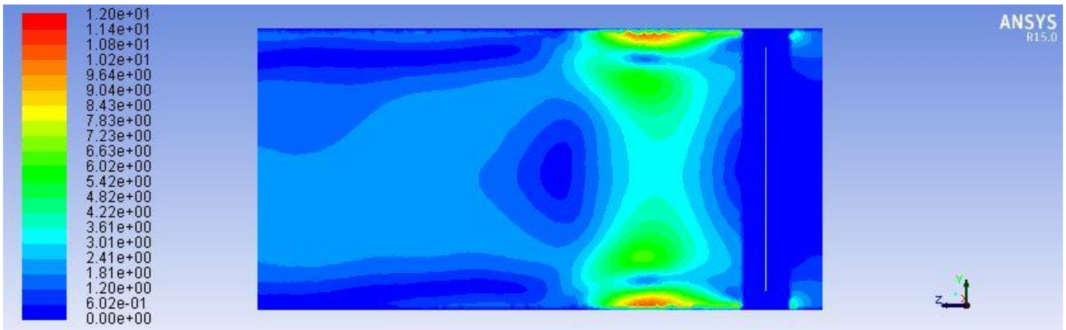
اندازه سرعت

اندازه سرعت یک پارامتر حیاتی در بحث‌های مربوط به فن است که به‌صورت جذری از مربع سرعت در سه جهت x، y و z تعریف می‌شود. اندازه سرعت همان‌طور که در شکل ۶ مشخص گردیده به سه بخش بالا دست، اطراف پروانه و پایین دست تقسیم شده است. در بخش بالا دست پروانه، با توجه به مکش پروانه سرعت هوا افزایش می‌یابد و با نزدیک شدن به پروانه این سرعت بیشتر خواهد شد. در بخش دوم که شامل پروانه می‌باشد، برای اجسامی که در حال دوران هستند، با افزایش شعاع (با توجه به سرعت چرخشی ثابت) اندازه سرعت نیز بیشتر خواهد شد؛ لذا بیشترین سرعت مروبط به نوک پره‌ها است. در بخش پایین دست پروانه با توجه به کاهش تاثیر پروانه بر روی مولکول‌های هوا و همچنین رفتار لایه‌ی مرزی در نزدیکی دیواره‌ها، سرعت کاهش خواهد یافت (شکل ۶).

فشار

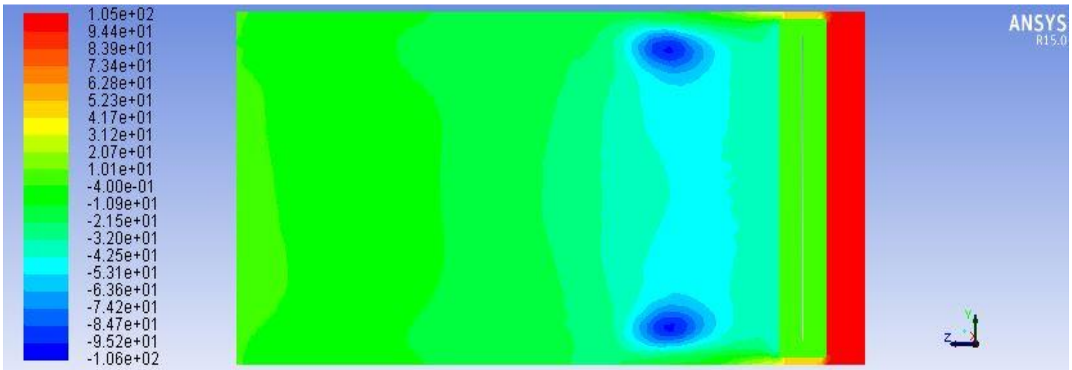
فشار کل به‌صورت مجموع فشار استاتیکی و فشار دینامیکی بیان می‌گردد. فشار دینامیکی به‌عنوان یکی از عامل‌های فشار کل طبق رابطه‌ی $p=\frac{1}{2}\rho v^{2}$ با سرعت محوری در ارتباط است و در نزدیکی دیواره‌ها این مقادیر تحت تاثیر لایه‌ی مرزی قرار گرفته و کاهش می‌یابند. شایان ذکر است که یکی از عوامل ایجاد نویز وجود اختلاف فشار زیاد می‌باشد. شکل ۷، کانتور دینامیکی سیستم را نشان می‌دهد.

1- Multi Refrence Frame (MRF)



شکل ٦- کانتور اندازه سرعت

Fig. 6. Contour of velocity magnitude

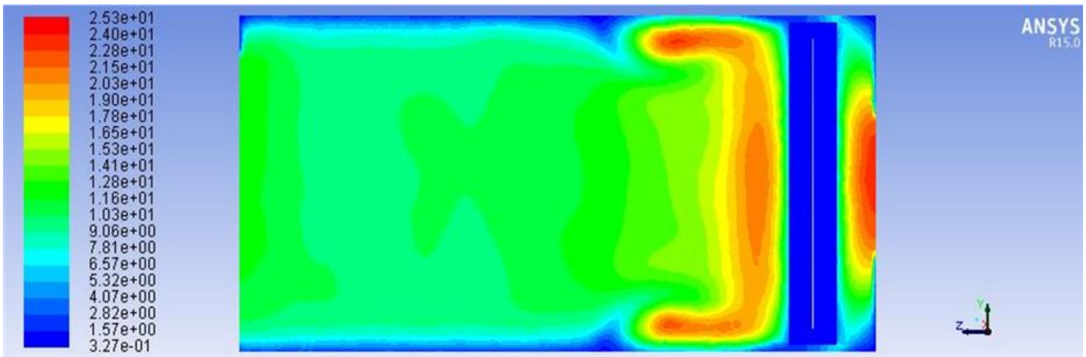


شکل ۷- کانتور فشار دینامیکی

Fig. 7. Contour of dynamic pressure

انرژی جنبشی و شدت توربولانس

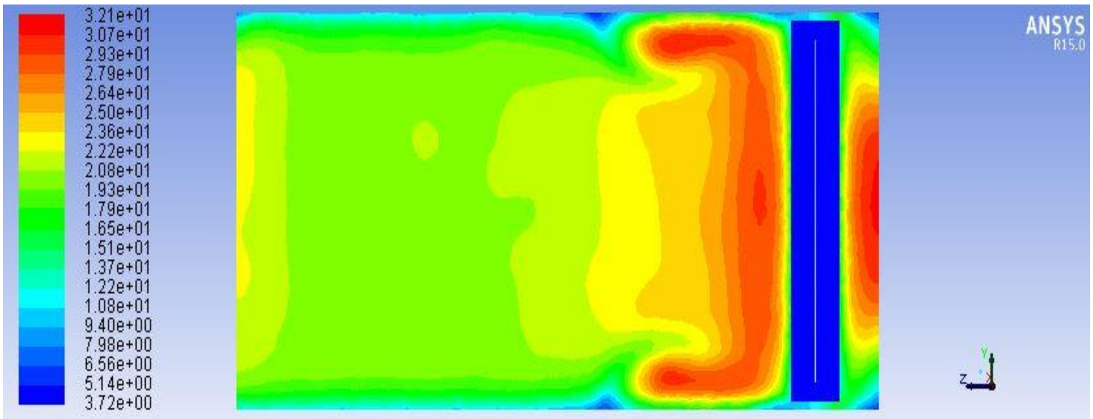
نویز مـی‌توانـد از طریـق حرکـت سـیال مغشـوش یـا از برخـورد نیروهای آیرودینامیکی که با سطوح برخورد می‌کنند، به‌وجـود آیـد. از آن‌جایی‌که انرژی جنبشی با سرعت متوسط جریان و شـدت آشـفتگی رابطه‌ی مستقیم دارد؛ می‌توان نتیجه گرفت که چون سرعت و شـدت توربولانس در نوک پره‌ها بیشتر می‌باشد، در نتیجه باید در این مناطق انرژی جنبشی نیز بیشتر باشد. شـکل ۸ نشـان مـی‌دهـد کـه انـرژی جنبشی توربولانس در مناطق مذکور دارای بیشترین مقدار می‌باشد. در پایین دست پروانه نیز مشاهده می‌گردد که انرژی جنبشی توربـولانس نسبتاً بالایی ایجاد شده است که این امر به دلیل وجـود گردابـه‌هـای جریان که در اثر دوران پروانه و وجود فشار مثبت و منفی (فشار منفی در اثر مکش مرکز پروانه) پدیدار گشته است، می‌باشد. اخـتلاف فشـار بالا در دو طرف ذرات سیال باعث ایجاد جریان چرخشی در ذرات شده که این حرکت چرخشی بر ذرات مجاور تاثیر گذاشته و باعث تشـکیل گردابه می‌شود. گردابه باعث ایجاد جریان آشفته در آن منطقه شـده و شدت آشفتگی و سرعت سیال افزایش خواهد یافت، در نتیجه‌ی ایـن تاثیرها، بر انرژی جنبشی توربولانس در این مناطق نیز افزوده خواهـد شد.



شکل ۸- کانتور انرژی جنبشی توبولانس

Fig. 8. Contour of tubulence kinetic energy

شدت توربولانس متاثر از سرعت می‌باشد و در مناطقی با سرعت زیاد شدت توربولانس افزایش می‌یابد. طبق شکل ۹، بیشترین شدت آشفتگی در نزدیکی لبه‌های پره با توجه به‌وجود سرعت‌های بالاتر می‌باشد. در نزدیکی دیواره‌ها به سبب وجود لایه‌ی مرزی سرعت کاهش یافته و بالطبع آن شدت توربولانس کاهش می‌یابد.

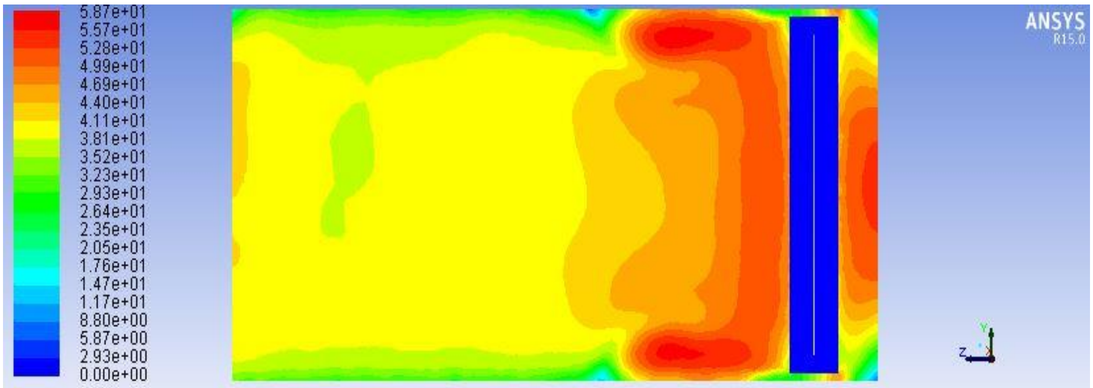


شکل ۹- کانتور شدت توربولانس

Fig. 9. Contour of turbulence intensity

تراز توان صوتی

در ایجاد نویز عوامل متعددی دخیل هستند؛ چنان‌چه که در بالا نیز ذکر گردید اختلاف فشار بالا در محدوده‌ای مشخص، سیال آشفته و گردابه باعث ایجاد نویز می‌گردند. شکل ۱۰ نیز نشان می‌دهد که بیشترین نویز در مناطقی ایجاد شده که این عوامل نیز بیشترین مقدار خود را دارا هستند. ماکزیمم نویز تولید شده در مناطق نوک پره‌ها به علت سرعت زیاد آن که باعث انرژی جنبشی و شدت توربولانس بیشینه خواهد شد، در مناطق پایین دست نیز به دلیل وجود اختلاف فشار زیاد و وجود گردابه و همچنین انرژی جنبشی و شدت توربولانس زیاد در این مناطق می‌باشد.



شکل ۱۰- کانتور تراز توان صوتی

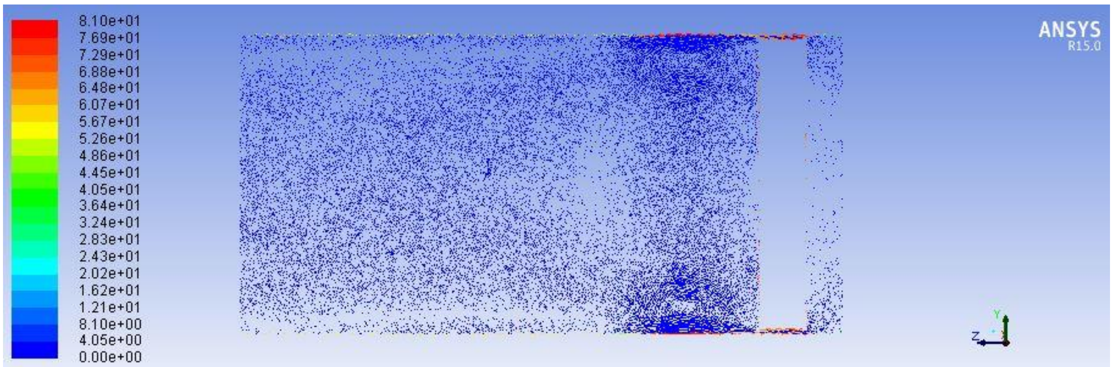
Fig. 10. Contour of sound power level

توان صوت سطح

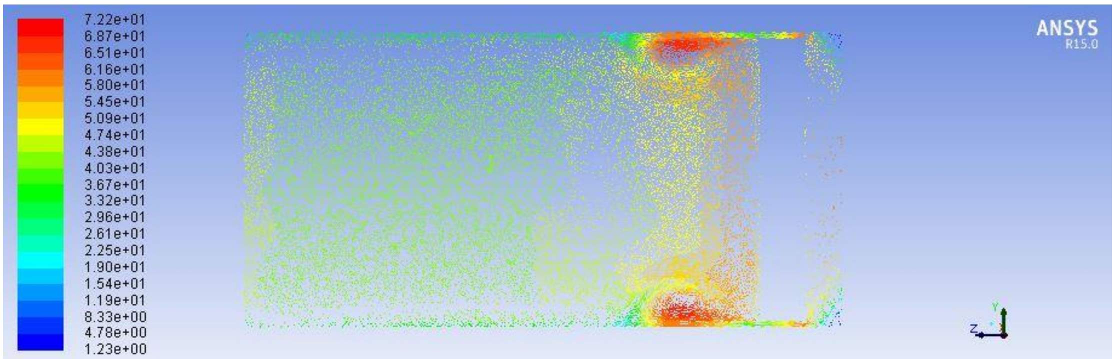
توان صوتی سطح بر حسب وات بر متر مربع بیانگر سهم محلی در هر واحد سطح از سطح بدنه به کل توان صوتی است. شکل ۱۱ جزییات بیشتری از توزیع توان صوتی سطح را ارائه می‌دهد. همچنین بردارهای جهت‌دار تراز توان صوت سطح و تراز توان صوتی در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ آورده شده است.



شکل ۱۱- کانتور توان صوت سطح
Fig. 11. Contour of surface sound power



شکل ۱۲– بردارهای جهت‌دار تراز توان صوت سطح
Fig. 12. Velocity vector of surface sound power level



شکل ۱۳– بردارهای جهت‌دار تراز توان صوتی
Fig. 13. Velocity vector of sound power level

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که ارزیابی عددی آکوستیکی با استفاده از نویز پهن باند عملکرد فن را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و نتایج آن توافق خوبی با تاثیرات جریان بر نویز دارد. افزایش شناخت از عوامل و تاثیرات آن‌ها بر روی سطح سر و صدای پروانه می‌تواند برای کاهش تاثیرات نویز در توربوماشین‌ها کمک کند. استفاده از شبیه‌سازی عددی در پیش‌بینی و کاهش نویز علاوه بر صرفه‌جویی زمان باعث کاهش چشمگیری در هزینه‌ها نسبت به استفاده از روش‌های مستقیم و طراحی‌های مکانیکی به‌صورت فیزیکی می‌گردد. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان به این نتیجه رسید که شبیه‌سازی عددی آکوستیک و مدل نویز پهن باند توانایی خوبی برای تحلیل نویز در ماشین‌های دوار و فن‌ها برخوردار می‌باشد.

References

1. ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS, Inc., 275 Technology Drive Canonsburg, PA 15317, November 2013
2. de Jong, A., and J., Golliard. 2013. Towards a universal scaling for broadband turbulent noise in internal flow devices. In ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition (pp.V014T15A019-V014T15A019). American Society of Mechanical Engineers.
3. De Villiers, E. 2007. The potential of large eddy simulation for the modelling of wall bounded flows (Doctoral dissertation, University of London).
4. Fedala, D., S. Kouidri, F. Bakir, and R. Rey. 2007. Modelling of broadband noise radiated by an airfoil-application to an axial fan. International Journal of Vehicle Noise and Vibration 3: 106-117.
5. Horváth, C., and J. Vad. 2009. Broadband noise source model acoustical investigation on unskewed and skewed axial flow fan rotor cascades. In Proc. Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'09), Budapest, Hungary, 682-689.
6. Hubbard, H. H. 1991. Aeroacoustics of flight vehicles: Theory and practice. volume 1. noise sources (No. NASA-L-16926-VOL-1). National Aeronautics And Space Admin Langley Research Center Hampton Va.
7. Majander, P., and T. Siikonen. 2002. Evaluation of Smagorinsky-based subgrid-scale models in a finite-volume computation. International Journal for Numerical Methods in Fluids 40: 735-774.
8. Nadi, F., S. A. Mehdizadeh, and U. N. Zonuz. 2017. Comparing between predicted output temperature of flat-plate solar collector and experimental results: computational fluid dynamics and artificial neural network. Journal of Agricultural Machinery 7 (1): 298-311. (In Farsi).
9. Rezvanivandefanayi, A., and A. Nikbakht. 2015. A CFD Study of the Effects of Feed Diameter on the Pressure Drop in Acyclone Separator, International Journal of Food Engineering 11: 71-77.
10. Roshko, A. 1961. Experiments on the flow past a circular cylinder at very high Reynolds number. Journal of Fluid Mechanics 10: 345-356.
11. Smagorinsky, J. 1963. General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment. Monthly Weather Review 91: 99-164.
12. Wang, Y. P., J. Chen, H. C. Lee, and K. M. Li. 2012. Accurate simulations of surface pressure fluctuations and flow-induced noise near bluff body at low mach numbers. In The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA7).

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 10, No. 2, Fall- Winter 2020, p. 255-264

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۰، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۳۹۹، ص ۲۶۴-۲۵۵

Aero-acoustical Study of Axial Fan using Computational Fluid Dynamics

B. Sabralilou[1], A. Mohebbi[2*], E. Akbarian[3], A. Rezvanivand fanaei[4]

Received: 26-08-2018
Accepted: 05-01-2019

Introduction

The issue of noise pollution is one of the concerns of most societies and industries because of their relationship to the environmental comfort of life or work of people are paying attention. The Aero-acoustics not only because of government regulations on the noise pollution, but also due to the increasing demand of the people's living standards and create a safe environment for farm animals is considered important. At the same time, products with high aero-acoustic performance will attract a lot of customers, which is in the interest of the global economy. Reducing current noise is often accompanied by a reduction in energy costs, resulting in durability of structures and improved product quality.

Materials and Methods

Sound measurements were carried out at the wind tunnel in Tabriz Tractor Engineers Company. Using the measurements performed by the instrument, the sound levels were measured at different periods of the fan. In many practical applications that include turbulent flow, no noise has any specific tone and the sound energy is continuously distributed over a wide range of frequencies. In cases where broadband noise is present, statistical disturbance values easily calculated from the RANS equations can be used in conjunction with semi-experimental correlations and audio coordination to reveal some broadband noise sources.

Based on the problem, the boundary condition is the type of "input velocity" for the input and "output pressure" for the output. It was also used to move the mesh to apply the rotary motion of the fan. The thermodynamic conditions at these boundaries should be considered.

Results and Discussion

The accuracy of the simulation results data was verified with the measured data. In the laboratory results, the audio level is accompanied by an audio environment and an inverter and a belt that is about 15 db. With this in mind, the simulation results had a good agreement with experimental results.

The velocity is a critical parameter in fan-related discussions. In the upper part of the fan, the speed of the air increases as the fan sucks, and this speed will increase as the fan approaches. In the second part, which includes the fan, for speeding objects, the speed will increase as the radius increases (due to the constant rotational speed), so the maximum speed will be at the tip of the blades. In the lower part of the fan, the speed will decrease as the fan impact decreases on the air molecules as well as the boundary layer behavior near the walls.

As the speed and intensity of the turbulence are higher at the tip of the blades, hence the kinetic energy of these regions must also be higher. The kinetic energy of the turbulence in these areas is the highest. At the bottom of the fan, it is also observed that the kinetic energy of the turbulence has been relatively high, due to the existence of flow vortices that emerge from the fan period and the presence of positive and negative pressure (negative pressure due to suction of the fan center). The high pressure difference on both sides of the fluid particles causes a rotating flow in the particles, which affects the adjacent particles and causes vortex formation.

Conclusions

The results showed that the numerical acoustic evaluation simulates the performance of the broadband band with good results and has good agreement with the effects of the current on the noise. Increasing the recognition of the factors and their effects on the fan noise level can help to reduce the noise effects of turbo-machines. Using numerical simulations in predicting and reducing noise, in addition to time saving, dramatically reduces costs by using direct methods and mechanical design physically. With regard to all aspects and calculations, it can be concluded that acoustic numerical simulation and broadband noise model have a good ability to analyze noise in fans and rotary machines.

Keywords: Broadband noise, Computational Fluid Dynamics, Noise, Radiator fan

1- MSc. student, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
2- Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
3- PhD. student, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
4- PhD. student, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: a.mohebbi@urmia.ac.ir)